

충청남도에서 CNG 버스로의 전환을 위한 비용-편익 분석

최연석* · 박병태**

*호서대학교 교양교직학부 · **명지전문대학 산업시스템경영과

Cost-Benefit Analysis for the Replacement with the CNG Buses in South Chungcheong Province

Yeon-Suk Choi* · Byoung-Tae Park**

*Dept. of General Education, Hoseo University

**Dept. of Industrial & Systems Engineering, Myongji College

Abstract

According to industrialization and urbanization the number of increasing cars is attributable to an explosive increase of the vehicle emissions. In this study, in consideration of the population and local transportation characteristics of South Chungcheong Province the environmental and economic cost-benefit analyses are performed to evaluate whether the CNG bus conversion gives what kind of effects. Based on the analysis result the expansion and distribution plan of CNG bus is proposed for South Chungcheong Province, and the local supply policy model is also proposed considering the acquisition and management of the economic situation of CNG charging infrastructure and the small transportation companies.

Keywords : Cost-Benefit Analysis, Air Pollution Substance, Vehicle Emission, CNG Bus

1. 서론

산업화 및 도시화에 따라 자동차 보유대수가 증가하고 있으며 이로 인한 자동차 배출가스의 양도 꾸준히 증가하여, 자동차 배출가스, 즉 도로이동오염원에 의한 대기오염 기여율은 2009년 기준으로 전국 대기오염 물질 중에서 30.8%를 차지하게 되었다. 오염 물질별 대기오염 기여율은 일산화탄소(CO)가 73.1%, 질소산화물(NOx)은 36.6%, 휘발성 유기화합물(VOC)은 10.4%, 암모니아(NH₃)는 3.6%를 보여주고 있다. 도로이동오염원에서 주로 배출되는 물질은 CO로써 55.0%로 가장 많고, 다음으로 NOx가 34.6%, VOC가 7.9%를 차지하고 있다. 특히, 자동차 1대당 온실가스 배출량을 비교한 결과에 따르면 충남·충북지역이 각각 6.20톤/대, 5.97톤/대로써 전국에서 가장 높은 수치를 보여주고 있으며, 특히, 자동차 등록대수가 많고 통행량이 집중된 천안시 및 도시화 지역에서의 자동차 배출가스에

의한 대기오염 기여율이 훨씬 높은 것으로 조사되었다[1].

과거 자동차 배출가스의 저감을 위한 운행차 배출기준의 강화나 노상단속 등의 운행차 관리대책이 규제수단의 근간이 되어 왔으나, 이러한 수단은 자동차 대수의 급격한 증가로 효과를 기대하기 어려워 결국 저공해차 개발 및 보급이 근본적이고 핵심적인 자동차 배출가스 저감 대책으로 부상되었다. 이에 정부에서는 대형 경유차 중에서 우선 대도시 내에서 운행 빈도가 가장 많고 오염비중이 높은 시내 버스를 기존의 경유 버스에 비해 매연이 전혀 없고 다른 대기오염물질도 65%이상 적게 배출되는 천연가스(CNG) 버스로 대체하는 사업을 2000년부터 추진하여, 2011년 말 현재 전국의 CNG 버스의 보급률은 74.7%를 보이고 있다.

그러나 본 연구 대상 지역인 충청남도의 경우는 2011년 현재 천안시에만 CNG 차량 357대(시내버스, 청소차)가 보급되어 있는 실정이다[2].

† Corresponding Author : Byoung-Tae Park, Dept. of Industrial & Systems Engineering, Myongji College, 356-1 Hongseon2-Dong Seodaemun-Gu Seoul Korea,
M · P: 010-3061-5070, E-mail: btpark@mjc.ac.kr

Received July 20, 2013; Revision Received October 10, 2013; Accepted December 4, 2013.

그러나 본 연구 대상 지역인 충청남도의 경우는 2011년 현재 천안시에만 CNG 차량 357대(시내버스, 청소차)가 보급되어 있는 실정이다[2]. 이러한 충청남도지역의 대기오염을 개선하기 위해서는 충청남도지역 특성에 적합한 환경 친화적인CNG 버스 보급 확대 정책과 더불어 대도시 기준에 맞춘 데이터가 아닌 충청남도 각 지역의 특성이 고려된 실 증 데이터의 제시가 필요한 현실이다.

그러므로 본 연구에서는 대기오염의 주범인 경유 자동차를 CNG 버스로 전환하여 충청남도 대기질을 획기적으로 개선하기 위해, 차종별로 도로환경 및 교통 환경이 반영된 실 주행 데이터를 수집하여 지역별 대기오염물질 절감도를 산출하고 이를 기반으로 세부 지역별 인구특성이 반영된 경제적, 환경적 편익을 도출하였다. 마지막으로 도출된 결과를 바탕으로 충청남도 지역을 위한 CNG 버스 전환 및 확대 보급 추진 전략을 제시하였다.

2. 선행연구 분석

경유 자동차에 비해 환경오염이 상대적으로 적은 CNG 자동차의 도입과 관련하여 2002년 이후 수행된 대표적인 연구 결과는 다음과 같다.

환경부에서 수행한 연구에서는 2000년부터 보급된 CNG 자동차에 대한 환경성, 경제성 및 기술성을 평가하고 보급 활성화를 위한 중장기 방안을 제시하고 있다. 우선, CNG 버스와 경유 버스의 출력당 대기오염물질 배출량 시험·분석을 통해, 경유 버스 대비 CNG 버스의 환경성을 평가하였다. 다음으로 CNG 버스 보급

정책의 추진과정에 정부 및 지자체가 지불해야 할 제반 비용을 추정하고 앞에서 추정한 환경개선편익을 고려하여 비용-편익을 분석하였다[3]. 그리고 버스사업자의 수지 분석을 위해 서울, 인천, 경기도의 업체를 대상으로 연비, 연료가격 등을 기준으로 경유 버스 대비 CNG 버스의 대당 상대적 수지를 분석하였다[3][4].

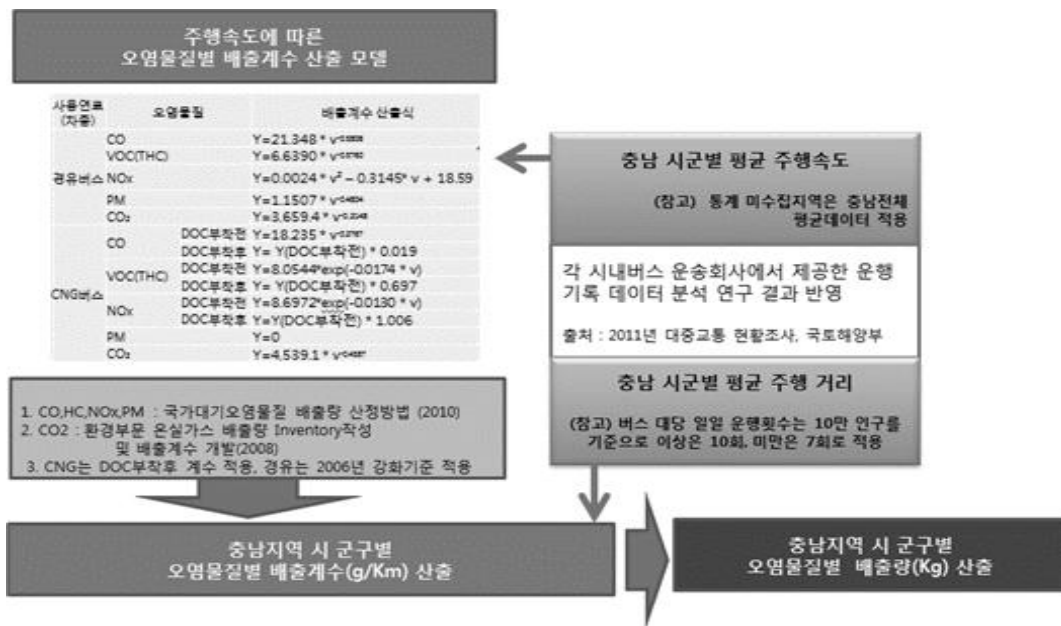
교통개발연구원에서 수행한 연구[5]에서는 CNG 버스의 배출가스 중 SOx, TSP, NOx, HC, CO의 5가지 물질을 기준으로 환경비용을 추정하였고 차량 단위당 경제성 분석뿐만 아니라 정부의 CNG 버스 보급사업 전반에 대한 경제성 분석 및 수지 분석을 병행하는 동시에 버스 사업자와 충전소 사업자의 수지 분석을 통하여 정부의 적정지원규모를 결정하였다.

3. 충청남도 지역을 위한 CNG 버스 도입 비용-편익 분석

3.1 지역별 오염물질 배출량 및 CO2 배출량 산출 메커니즘

본 연구에서 충청남도지역의 시·군·구별 오염물질 배출량을 산출하기 위해서 도출한 산출 메커니즘은 <Figure 1>과 같다.

지역별 오염물질의 배출량과 CO2의 배출량은 차종별로 운행기록데이터를 이용하여 실제 환경조건을 반영하도록 하였는데, 여기서 반영된 실제 환경조건은 지역별 도로 및 교통 상황이다.



<Figure 1> Procedure of the Emission Quantity Calculation for Each Air Pollution Substance

우선 지역별로 평균 주행속도에 따른 배출계수를 계산한 후 이를 이용하여 평균 주행거리에 따른 배출량을 산출하였다. 각 지역별 특성요소에 대한 정의 및 신뢰성 있는 변수 값의 적용을 위하여, 매년 전국의 시내버스 운송회사의 실제 운행기록데이터를 취합하여 발표하는 국토해양부와 도로교통안전공단의 대중교통현황조사 결과보고서(2011년)에서 충청남도지역의 각 시·군별 버스 평균주행속도 데이터를 수집하여 오염물질별 배출계수 산출 식에 반영하였고, 산출된 배출계수에 각 지역별 평균주행거리를 적용해서 각 지역의 오염물질별 일일/연간 배출량을 산출하였다. 통계치가 확인되지 않은 지역들에 대해서는 충청남도전체의 운행특성데이터를 적용하였으며, 운행속도는 충청남도전체 평균주행속도를 반영하였다. 버스 1대당 일일 운행횟수 및 주행거리에 대해서는 인구수에 따라 결정하였는데, 인구 20만 이상의 지역에 대해서는 차량 1대당 평균 노선을 10회 운행(왕복 5회 운행)하는 거리를 적용하였으며, 인구 10만 이상 지역은 9회(왕복 4~5회 운행)로, 10만 미만 지역과 공주시는 7회(왕복 3~4회)를 적용하였다. 2011년 대중교통 현황조사와 국가통계자료[2]에서 수집한 충청남도 지역별 주요 노선 평균주행속도 데이터는 <Table 1>에서 보는 바와 같다.

<Table 1> Average Driving Speed of Buses in South Chungcheong Province

지역	인구수 (명)	EC 기준	평균 운행 속도(km/h)	보유 버스 (대)	노선 당 평균 거리 (km)	노선 당 평균 운행 횟수 (회)	대당 운행 거리 (km/년)	지역별 운행거리 (km/년)
전체	2,101,284	수백만	29	1,019	19	8	54,489	55,524,582
천안	571,377	50만	25	357	21	10	77,745	27,754,965
논산	127,533	>10만	29	65	18	9	57,488	3,736,688
보령	106,421		34	59	20	7	50,845	2,999,826
아산	274,523		28	127	21	10	75,920	9,641,840
서산	161,489		29	62	19	9	62,415	3,869,730
공주	124,748		27	63	24	7	60,809	3,830,967
당진	150,219		29	57	19	9	62,415	3,557,655
태안	62,747		29	39	19	7	48,545	1,893,255
예산	86,421		29	45	19	7	48,545	2,184,525
홍성	88,108		29	44	19	7	48,545	2,135,980
청양	32,291		농어촌	29	16	19	7	48,545
서천	59,541	29	28	19	7	48,545	1,359,260	
부여	74,004	35	39	22	7	55,699	2,172,261	
금산	56,030	31	18	14	7	34,493	620,865	

사용 연료에 따른 오염 물질별 배출량은 식1을 이용하여 계산하였다. 여기에서 지역별 특성자인 평균주행속도를 변수로 하는 경유 버스 및 CNG 버스의 오염 물질별 배출계수 산출식은 <Table 2>와 같다.

$$PA_{fuel} = TD(km/년) * EF_i(fuel)(g/km) \text{ ---- (1)}$$

PA ; 사용 연료(fuel)별 시내버스 1대당 오염물질 배출량(kg)

EF ; 사용 연료(fuel)에 따라 주행거리 당 배출되는 오염물질(i)별 배출계수(g/km)

TD ; 버스의 연간 주행거리(km)

(일일 평균 운행거리(km) * 365일)

fuel ; 사용 연료(경유, CNG)

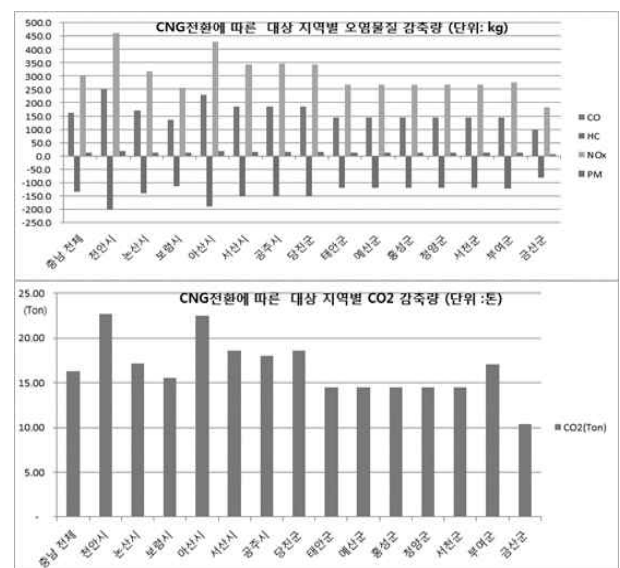
i ; 오염물질(CO, HC, NOx, PM, CO2)

경유 버스의 배출계수 산출 식은 2006년에 강화된 배출허용기준을 적용한 것이고, CNG 버스의 배출계수 산출 식은 교통환경연구소에서 엔진동력계의 시험을 통해 측정된 산화촉매장치(DOC) 부착 전·후의 오염물질별 증감비율(O 98.1%, HC 30.3%, NOx -0.6%)을 기존의 배출계수에 적용하여 결정된 것이다. 본 연구에서는 각 도로교통수단의 운행 특성인 주행속도에 따라 각 지역별 CO2 배출량 산출 방법을 적용하였다. CO2배출량 산정에는 국립환경과학원에서 2008년에 개발한 환경부문 온실가스 배출량 Inventory 작성 및 배출계수를 적용하였다[6][7].

<Table 2> Calculation Formula of Emission Coefficient

사용 연료	오염물질 및 온실가스	배출계수 산출 식	
경유	CO	$Y = 21.348 * v^{0.5806}$	
	VOC	$Y = 6.6390 * v^{0.5760}$	
	NOx	$Y = 0.0024 * v^2 - 0.3145 * v + 18.59$	
	PM	$Y = 1.1507 * v^{0.4804}$	
	CO2	$Y = 3.659.4 * v^{0.3148}$	
CNG	CO	DOC부착전	$Y = 18.235 * v^{0.3767}$
		DOC부착후	$Y = Y(\text{DOC부착전}) * 0.019$
	VOC	DOC부착전	$Y = 8.0544 * \exp(-0.0174 * v)$
		DOC부착후	$Y = Y(\text{DOC부착전}) * 0.697$
	NOx	DOC부착전	$Y = 8.6972 * \exp(-0.0130 * v)$
		DOC부착후	$Y = Y(\text{DOC부착전}) * 1.006$
	PM		$Y = 0$
	CO2		$Y = 4,539.1 * v^{0.4587}$

단, Y = 배출계수, v = 평균주행속도(km/h)



<Figure 2> Annual Emission and CO2 Reductions for each CNG Bus

<Table 3> Calculation Results of the Annual Emission Quantity in South Chungcheong Province(단위 : kg)

차종	오염물질	전체	천안	논산	보령	아산	서산	공주	당진
경유 버스	CO	166.0	256.7	174.8	140.3	236.6	190.1	191.1	190.1
	VOC	52.4	81.0	55.2	44.4	74.7	60.1	60.4	60.1
	NOx	629.8	952.1	663.4	543.4	892.5	721.4	719.3	721.4
	PM	12.5	19.1	13.2	10.8	17.8	14.3	14.3	14.3
	CO ₂	69,383.6	103,409.1	73,121.0	61,368.7	97,873.3	79,475.8	78,755.2	79,475.8
CNG 버스	CO	5.3	8.0	5.6	4.7	7.5	6.1	6.1	6.1
	VOC	186.0	283.0	195.9	158.2	264.1	213.0	213.0	213.0
	NOx	328.7	492.1	346.4	286.3	464.6	376.5	374.1	376.5
	PM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	CO ₂	53,118.5	80,761.7	55,951.6	45,847.0	75,353.6	60,844.8	60,762.4	60,844.8

단, CNG는 DOC부착 후 배출계수 적용, 경유는 2006년 강화된 배출계수 기준 적용

앞서 언급한 평균주행속도 데이터와 <Table 2>의 경유 및 CNG 버스의 오염물질별 배출계수 산출 식을 적용하여 경유 버스와 CNG 버스의 주행거리당 오염물질별 배출계수(g/km)를 산출하였고, 경유 버스와 CNG 버스의 대기오염물질별 1대당 연간 총 배출량은 일일평균 주행거리를 365일로 환산하여 식1을 적용하여 산출하였다. 도출된 차종별 연간 대기오염물질별 배출량은 <Table 3>에서 보는 바와 같고, <Figure 2>는 <Table 3>으로부터 산출된 CNG 전환에 따른 지역별 연간 차량 1대당 오염물질 및 CO2 감축량을 보여 준다.

3.2 CNG 버스 교체에 따른 환경적 편익 분석

경유 버스를 CNG 버스로 대체하는데 있어 사회적 한계비용을 고려한 환경개선편익을 도출하였다. 충청남도 지역별 환경적 편익의 산출을 위하여 CNG 버스로의 전환 시 편익 평가항목 및 주요 변수를 정리한 <Table 4>에서 보는 바와 같이, 버스의 운행 과정에서 배출하는 오염물질에 대하여 종류별로 대기오염의 사회적 한계비용을 구할 필요가 있다. 여기서 사회적 한계비용은 오염물질 한 단위가 배출된 경우 사회가 입는 피해비용으로 정의할 수 있다. 사회적 한계비용은 오염물질이 배출되는 환경의 상태, 사회경제적 여건에 따라 국가별, 시기별로 달라지는 비선형적인 특성을 가지고 있으나, 본 연구에서는 2007년에 환경부에서 수행한 선행연구 결과[3]를 적용하여 배출량과 오염도가 선형의 상관관계를 갖는다는 가정 하에 사회적 한계비용을 산출하였다.

버스 운행에 따라 배출되는 오염물질로는 PM, NOx, CO, HC가 있으며 이들 오염물질들에 대한 한계비용 산출을 위하여 선행 연구 결과 중에서 주로 도시화율이 높고 인구가 밀집된 EU 회원국을 대상으로 사회적 한계비용을 추정된 EC 추정치를 적용하였다[8]. EC의

사회적 한계비용은 인구 규모별로 가중치를 따로 제시하고 있기 때문에 지역별, 인구별 한계비용을 산출하고자 할 때에는 인구 규모에 맞추어 가중치를 두어야 한다. 또한, EC의 한계비용 추정에는 CO가 누락되어 있기에 본 연구에서는 SO2를 기준으로 CO, HC에 대한 상대적 대기위해지수를 활용하여 CO에 대한 추정치 결정하였다[5]. <Table 5>는 결정된 사회적 한계비용을 보여 준다.

<Table 4> Criteria for Evaluation of Switch-Over Effect

구분	평가 항목	주요 변수
환경적 편익	연료별 배출계수에 의한 대기오염물질의 사회적 한계비용	EC 기준 & KAIST 상대기준
		CDM적용 기준(4.35원/kg)과 환경부가 실시하고 있는 탄소포인트제의 기준(0.3원/kg) 적용
경제적 편익	연간 감가상각비	연료별 차량구입가격(구입보조금 포함) 내구 연한 9년
	연간 연료비	연료별 가격(연료보조금 포함 여부)
		연비(평균속도에 따라 산출)
		연간 주행거리
연간 정비비용(부품비)	전국 버스운송사업조합 데이터	
각종 세금	부가가치세(구입 시 면제)	
	취득세(구입 시 면제)	
	환경개선부담금(연간 2회 납부 면제)	

차종별 대기오염의 환경개선편익은 연비와 배출계수를 활용하여 추정된 연간 대기오염물질 배출량에 대기오염의 사회적 한계비용을 곱하여 산출할 수 있다. 본 연구에서는 앞서 추정된 경유 버스 대비 CNG 버스의 대기오염물질 배출 증감량과 오염물질별 사회적 한계

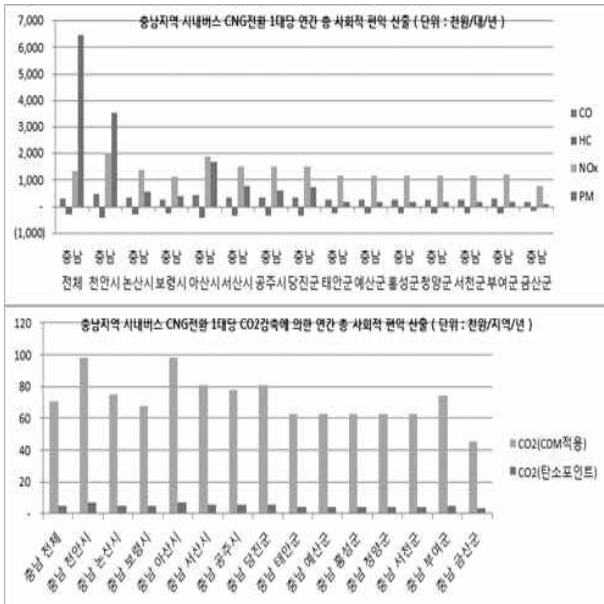
비용을 곱하여 산출하였다. 경유 버스에서 CNG 버스로 전환할 때 1대당 감축되는 오염물질을 기준으로 충청남도 주요 지역별 연간 환경개선편익을 산출한 결과는 <Figure 3>과 같다.

<Table 5> Marginal Social Cost for Each Population and Air Pollution Substance

(단위 : 원/kg)

대기 오염 물질	EC 한계비용 추정치(2000년도 기준 값)				농어촌 지역 인구
	도시지역 인구				
	>100만	100만	50만	10만	
PM	517,770	258,885	172,590	34,518	14,644
SO ₂	94,140	47,070	31,380	6,276	5,439
NO _x	65,898	32,949	21,966	4,393	4,393
HC (VOC)	32,949	16,475	10,983	2,197	2,197
CO	29,717	14,858	9,906	1,981	1,981

단, 2000년 기준 EC 한계비용 적용, 1EUR=1,046원 기준

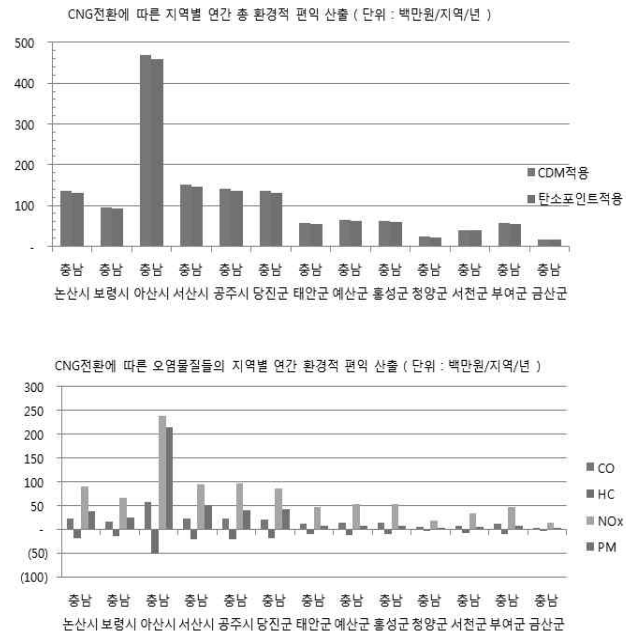


<Figure 3> Annual Environmental Benefits for each CNG Bus

충청남도 2012년 6월말의 시내버스 기반으로 지역별 차량 수를 상기 산출한 값에 적용하면 차량 수에 대한 지역별 연간 환경개선편익이 산출되며 그 결과는 <Figure 4>에 제시하였다. <Figure 4>에서 보는 바와 같이, 현재 CNG 버스를 운행 중인 천안시를 제외하면 아산시가 환경개선편익이 가장 높고 다음으로 서산시, 공주시, 당진군, 논산시의 순으로 환경개선편익이 제공됨을 알 수 있다.

3.3 CNG 버스 교체에 따른 경제적 편익 분석

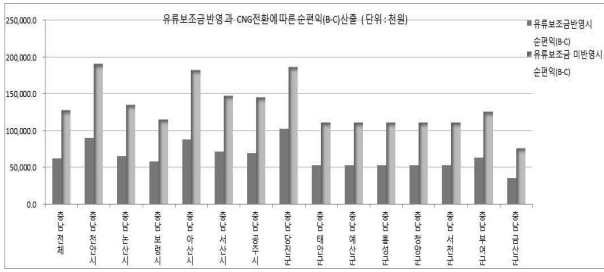
CNG 버스로의 교체를 위해 소요되는 비용과 이로 인한 편익을 비교·분석하기 위해, 본 연구에서는 CNG 버스로의 전환에 따른 경제성 평가는 CNG 버스로의 교체라는 단일 사업 내 각 지역의 경제성을 평가하는 것이므로 비용편익비(B/C)와 순편익(B-C) 비교 방법을 적용하였다. 즉, CNG 전환에 대한 경제성 측면의 비용 편익 분석 방법인 순현재가치(NPV)와 비용편익비(B/C) 비교를 통하여 CNG 전환의 사업성 여부 및 우선순위가 높은 지역에 대한 의사결정 정보를 도출하고자 한다. 아울러, 경유 버스의 유류보조금 지원 여부에 따른 순편익(B-C)의 변화와 경유 버스의 유류보조금 지원 여부에 따른 비용편익비(B/C) 비교를 통하여 충청남도 지역에 CNG 버스 도입 시 지역별 효용성을 평가하였다. <Table 4>의 경제성 편익 요소들에 대한 산출 결과는 다음과 같다.



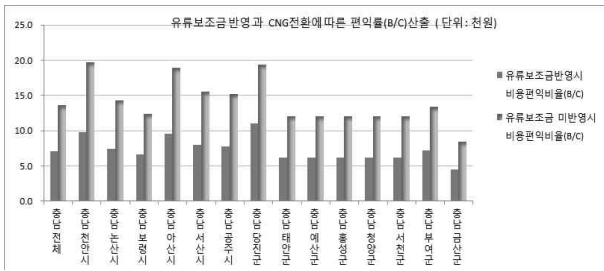
<Figure 4> Annual Environmental Benefits

(1) 감가상각비

감가상각비의 계산을 위해 2012년 10월 기준의 소비자 물가 상승률 2.1%와 91일 CD금리 2.85%를 할인율을 적용하였다. CNG 버스의 경우는 정부 및 지자체로부터 차량구입보조금 1,850만원('09년 기준)을 지원받고 있으므로 실 구매가격이 경유 버스와 비슷한 수준으로 나타났다. 각 차량의 감가상각비는 초기 취득가격(A)과 9년의 내구 연한(n), 9년 이후 잔존가격(B)에 대해 (A-B)/n로 계산하였다.



<Figure 5> Net Benefit(B-C)

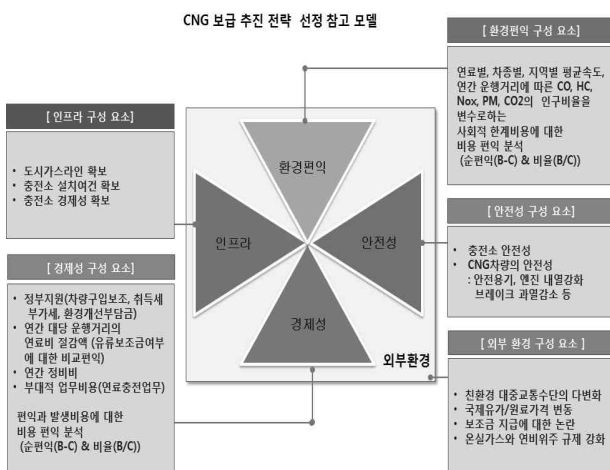


<Figure 6> Cost Benefit Ratio(B/C)

4. 충청남도 지역을 위한 CNG 버스 보급 정책 제안

4.1 CNG 버스 보급 추진을 위한 전략 모형

앞서 3장에서 언급한 CNG 버스 도입 비용-편익 평가 결과를 반영한 충청남도 지역의 CNG 버스 보급 추진을 위한 전략 모형을 <Figure 7>에 제시하였다. CNG 자동차 보급 추진 시 고려해야 할 구성요소를 인프라 구성요소, 경제성 구성요소, 환경편익 구성요소, 안전성 구성요소, 외부환경 구성요소의 5개의 영역으로 나누어 CNG 버스 보급 추진 시 고려하도록 하였다.



<Figure 7> Strategic Model for Advance Supply of CNG Buses

5개의 구성영역 중, 우선 인프라 구성요소와 관련하여, 충청남도 지역의 CNG 버스 보급 확대를 위한 인프라 구성요소 확보(예정 포함) 및 충청남도 CNG 버스 구입 의무화 시행 등에 관한 조례를 고려해 볼 때 적용 대상이 되는 지역은 버스 보유대수가 100대 이상인 천안시와 아산시로 국한된다. 현재, 아산시는 자체적으로 저 탄소 교통 문화 구현에 적극적인 의지를 보이고 있으며 공영차고지의 확보 및 충전소 설치를 적극적으로 추진 중이며, 당진군의 경우는 비록 충청남도의 서북부 지역 중 차량 보유대수가 100대 미만이나 대규모 화력발전소, 화학 산업단지, 제철소 등이 밀집해 있어 산업화/도시화율이 높으며 또한 도시가스 공급자가 적극적인 지원 의사를 보이고 있으므로 천안시 외 2곳이 1차적으로 높은 인프라 구성조건을 충족하고 있음을 알 수 있다. 다음으로 안전성 구성요소는 충청남도지역 내에는 모두 동일한 정도를 가지고 있다고 가정하여 동일한 상대치를 가지도록 하였으며, 외부환경 구성요소는 원료가격의 변동과 관련된 부분으로, 경제적 구성요소에서 유료보조금 지급 여부 조건에 따른 경제성 편익비교 항목에 포함되어 반영하였다. 마지막으로 경제성 구성요소와 환경편익 구성요소는 3장에서 언급한 경제적 편익 및 환경적 편익 결정 시 반영된 구성요소이다.

그러므로 CNG 버스 보급 추진을 위한 전략 모형에서 경제적 구성요소와 환경적 구성요소는 경유 버스와 CNG 버스의 특성 적용을 통하여 정량화되는 요소이며 CNG 버스 보급 확대 정책 결정을 위한 주요한 상대평가 요소로 적용된다고 하겠다.

4.2 전략 모형 적용 결과 분석 및 정책 제안

충청남도 지역특성을 고려한 5개 구성요소의 분석을 통하여 CNG 버스로의 전환에 대한 효용성 여부와 충청남도의 개별 지역별 보급 우선순위 및 시급한 지역을 선정 하였다.

지역별로 동일한 안전성 구성요소, 외부환경요소를 고려하여, CNG 버스의 내구 연한 9년 동안의 총 운행기간 동안 운수회사들의 경제성 구성요소, 정책도입 대상 지역에 대한 환경편익 구성요소, 인프라 구성요소를 반영한 결과를 <Figure 8>에 나타내었다. 여기에서 인프라 구성요소는 충청남도 전 지역에 도시가스라인이 공급된 것을 기본으로 하였으며, 아산시와 당진군의 충전소 설치 확정 결과를 반영하였다. <Figure 8>로부터 본 연구에서 제시한 CNG 버스 보급 추진 전략 모형을 적용한 총 운행기간 동안의 5개 구성요소 간 다중적인

분석이 가능하다. 예로써 환경적 편익과 경제적 편익의 지역별 산출 결과를 살펴보면, 현재 전환이 완료된 천안시는 제외하고 아산시, 당진군(시)이 경제적, 환경적 편익이 가장 높다는 것을 알 수 있으며 그 다음은 서산시와 논산시임을 알 수 있다.



<Figure 8> Multiple Analysis Result on Five Components

CNG 버스 보급 추진 전략 모형의 적용 결과의 분석을 통하여 얻을 수 있는 충청남도 지역에서의 의사결정 지원 사항을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 현재 경유 버스를 운행하는 충청남도 지역 중에서 시내버스 보유대수가 100대 이상을 보유하여 CNG 자동차 의무전환 지역인 아산시와 경제성 구성요소, 환경편익 구성요소 및 인프라 구성요소 측면에서 보급이 시급한 지역으로 선정된 당진군이 1차적으로 CNG 전환을 함이 타당하다. 둘째, 기타 경제성 구성요소, 환경편익 구성요소 측면에서 다음으로 우수한 결과를 보인 공주시, 서산시, 보령시, 논산시, 부여군에서는 인프라 구성요소에 대한 충족 조건과 충전 인프라의 경제성 확보 여건이 마련된다면 CNG 전환 보급에 대한 효용성이 높다고 판단된다. 이들 지역은 부지확보 및 충전소 설치의 협의가 완료된 곳부터 순차적으로 추진할 수 있는 지역으로 분류할 수 있다. 셋째, 낮은 경제성 편익과 지방재정상황, 운수업체의 경영상황이 어려운 농어촌 지역은 충전 인프라의 경제성 확보 및 지자체의 예산, 운수회사의 경영상황 등을 고려하여 전환 정책을 실시함이 타당하다고 사료된다.

CNG 자동차 보급 확대와 관련된 추가적인 정책 제언은 다음과 같다.

천연가스 자동차 보급 사업 보조금 업무 처리 지침에서 보조금 지급 가능 차량을 살펴보면, CNG 자동차의 보급 확대를 위하여 시내버스와 청소차에 국한되어 있는 것을 알 수 있다. 이를 통근 및 통학용 버스까지 확대하여 전환 정책을 수행한다면 천연가스 충전소 운영(인프라 구성요소)의 경제성 확보에도 기여할 뿐 아니라 현재 100대미만의 버스를 보유함으로써 의무전환 대상이 아닌 지역에 대해서도 의무전환을 추진할 수 있게 되어 충청남도 지역에 대한 CNG 전환 정책이 확대되리라 기대된다.

본 연구를 통하여 제안된 CNG 버스 보급 추진 전략 모형을 통하여 CNG 버스의 보급 여부를 결정하기 위해 기존의 대도시 대상 연구들의 결과를 일률적으로 적용하는 것이 아니라 CNG 전환을 고려하고 있는 중소형 도시 지역의 특성을 반영되어 사업의 타당성 여부를 지원할 수 있는 방안이 마련되었다고 하겠다.

5. 결론

본 연구에서는 충청남도 지역의 교통 및 인구 특성을 고려하여 CNG 차량으로의 전환에 따른 환경적/경제적 비용-편익 분석결과를 토대로 충청남도 지역의 특성에 적합한 CNG 버스 확대 보급 방안을 도출하였다. 더불어 CNG 충전 인프라의 경제성 확보 및 운수사업체의 경영상황을 고려한 지역별 보급 정책 의사결정 지원 모형을 제안하였다. 제안된 CNG 버스 보급 추진 전략 모형은 CNG 버스의 보급 여부를 결정하기 위하여 기존의 대도시 대상 연구들의 결과를 일률적으로 적용하는 것이 아니라 CNG 전환을 고려하고 있는 중소형 도시 지역의 특성을 반영되어 사업의 타당성 여부를 지원할 수 있는 방안이라 하겠다.

충청남도 지역에 본 연구에서 제안한 CNG 버스 보급 추진 전략 모형을 적용하여 총 운행기간 동안의 편익들에 대하여 환경적, 경제적, 인프라, 안전성 및 외부환경 구성요소 측면에서의 다중적인 분석을 실시한 결과에 따라, 아산시와 당진군을 우선 보급 대상으로 도출하였다. 다음으로 우수한 결과를 보인 공주시, 서산시, 보령시, 논산시, 부여군에서는 인프라 구성요소에 대한 충족 조건과 충전 인프라의 경제성 확보 여건이 마련된다면 CNG 전환 보급에 대한 효용성이 높다고 판단하였다. 또한 농어촌 지역의 경우는 충전 인프라의 경제성 확보 및 지자체의 예산, 운수회사의 경영상황 등을 고려한 전환 정책 실시의 타당함을 제시하였다. 더불어 CNG 보급 지역의 확대 전략으로써 시내버스·청소차에 국한 되어진 보조금 지급을 통근 및 통

학용 버스분야까지 확대하는 전환정책을 수행한다면 충청남도의 기타 시·군 지역에 대해서도 의무전환을 추진할 수 있게 되어 충청남도지역에 대한 CNG 전환 정책이 확대될 수 있음을 제시하였다.

본 연구결과를 통하여 충청남도 지역의 특성을 반영한 CNG 버스 보급 사업의 타당성 여부의 평가를 지원할 수 있을 뿐만 아니라, 충청남도 지역의 특성과 충전 인프라 경제성을 고려한 CNG 전환 확대 보급 방안과 공회전 제한장치 부착 사업 추진 당위성 근거 자료로써 지역별 보급 정책의사결정을 지원하는 도구로 활용이 가능할 것이다. 또한 충청남도지역 온실가스 배출량 감축을 위한 지방자치단체, 시민들의 공감대 형성 및 적극적인 참여를 유도하는 홍보자료의 근거데이터로도 활용할 수 있을 것이다.

6. References

- [1] Yu-Duk Hong, Dong-Won Lee, Hyung-Ah Jin, Seon-Ah Shin, Kyung-Mi Lee, Hyang-Kyung Lee and Bo-Eun Kim(2011), "National Air Pollutants Emission 2009", National Institute of Environmental Research
- [2] Hee-Dong Jung, Dong-Su Kang, Seon-Yung Park, Mi-Yeon Lee and Myung-Hee Kim(2012), "Investigation of Present Condition for Public Transportation 2011", Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- [3] Jang-Min Chu, Kwang-Kyu Kang, Kang-Il Lee(2009), "Research on the Evaluation and Vitalization Methodology for Diffusion of CNG Buses", Korea Environment Institute
- [4] Sang-Min Jun(2010), "Methodology for Spread of CNG Buses", Korea Research Institute of Transportation Industries
- [5] Jun-Woo Park(2002), "Economic Evaluation on the Diffusion of CNG Buses", Research on Transportation Policy, 9:47-65
- [6] Jong-Chun Kim, Jong-Su Han, Dae-Kyun Lee and Kyung-Hee Kang(2010), "Estimation Method on the Emission of National Air Pollution", National Institute of Environmental Research
- [7] Ji-Hyung Hong, Dong-Il Jung, Jung-Su Kim, Jong-Chun Kim and Dae-Kon Kim(2008), "Development of Greenhouse Gas Inventory and Emission Factors", National Institute of Environmental Research
- [8] Holland, M and Watkiss, P.(2002), "Benefits Table Database: Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe", Beta Version E1.02a

저 자 소개

최 연 석



KAIST 대학원 생산공학과 공학 석사, 대우전자 중앙연구소 주임 연구원, 호서대학교 교양교직학부 재직.

주소 : 충청남도 아산시 배방면 세출리 165

박 병 태



고려대학교 산업시스템정보공학과 공학박사, 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원, 명지전문대학 산업시스템경영과 재직.

주소 : 서울특별시 서대문구 홍은2동 356-1